SANDRA BARBOSA MORAES DE ALMEIDA

**Avaliação das propriedades físicas de resinas compostas restauradoras
pré-aquecidas e resinas fluidas com a finalidade
de cimentação de facetas cerâmicas**

São Paulo

2016

SANDRA BARBOSA MORAES DE ALMEIDA

**Avaliação das propriedades físicas de resinas compostas restauradoras
pré-aquecidas e resinas fluidas com a finalidade
de cimentação de facetas cerâmicas**

Versão Original

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia (Biomateriais e Biologia Oral) como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Igor Studart Medeiros

São Paulo

2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-Publicação
Serviço de Documentação Odontológica
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Almeida, Sandra Barbosa Moraes de.

Avaliação das propriedades físicas de resinas compostas restauradoras pré-aquecidas e resinas fluidas com a finalidade de cimentação de facetas cerâmicas / Sandra Barbosa Moraes de Almeida ; orientador Igor Studart Medeiros -- São Paulo, 2016.

76 p. : fig. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) -- Programa de Pós-Graduação em Odontologia. Área de Concentração: Biomateriais e Biologia Oral. -- Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

Versão original

1. Cimentação – Materiais dentários. 2. Facetas dentárias. 3. Resinas compostas. I. Medeiros, Igor Studart. II. Título.

.

Almeida SBM. Avaliação das propriedades físicas de resinas compostas restauradoras pré-aquecidas e resinas fluidas com a finalidade de cimentação de facetas cerâmicas. Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: / /2016

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a)._____

Instituição: _____Julgamento: _____

Prof(a). Dr(a)._____

Instituição: _____Julgamento: _____

Prof(a). Dr(a)._____

Instituição: _____Julgamento: _____

Dedico este trabalho ao meu esposo, Alexandre, às minhas filhas
Clarice, Luísa e Isabela.

AGRADECIMENTOS

Acima de todos e de qualquer coisa, agradeço à Deus. Autor e consumidor da minha fé, que além da vida, deu-me Vida, quando esta já não mais seria em todas as suas formas.

Agradeço ao meu esposo, Alexandre, que sonhou os meus sonhos, quando eles ainda eram “menor que o tamanho da mão de um homem”. Que cuidou de mim como ninguém. Amigo, companheiro e irmão. Sem você nada teria sido.

Às minhas filhas, Clarice e Luísa, que são meu orgulho. E à Isabela, responsável por não me deixar desistir. Minhas filhas, meus tesouros. Amo vocês.

Agradeço especialmente à minha família. Meu pai Abílio, pela vida. Saudades. À minha mãe, exemplo de sabedoria. Orgulho. Ao meu tio Ely, sem você eu não seria ninguém, descubro isso mais a cada dia. Meu exemplo. Saudades. Aos meus irmãos Regina, José Oscar e Petronilha, obrigada por serem como vocês são. Não imaginam o que significam pra mim.

Agradeço à professora Josete Meira pela acolhida carinhosa num começo bastante difícil. Aos professores Rafael Ballester, Leonardo Eloy, Paulo César, Paulo Capel e Walter Miranda, agradeço por sua colaboração e exemplos. Ao professor Roberto Braga, a quem muito requisitei, obrigada pela ajuda. Professor Carlos Francci, pelas suas ricas colaborações e conselhos, sou muito grata. Ao professor Fernando Nogueira, especial agradecimento pelo seu carinho e cuidado.

Pelas correções e conselhos extremamente valiosos, agradeço à Profa. Dra. Caroline Miyazaki.

Sou muito agradecida pelos colegas e amigos que ganhei, companheiros de uma jornada e desafios. Aos colegas Alexander Nishida, Alice Natsuko, Amanda Cavalcante, Ana Carolina Romeiro, Bruno Lopes, Claudia Carrara, Diego Manarão, Flávia Ibuki, Juliana Castro, Marcela Charantola, Pavel, Ranulfo Miranda e Sabrina Vargas. Pedro Paulo Albuquerque, você é especial. Aos colegas do GBD Ricardo Sgura, Maristela Dutra, Juliana Aguiar, grupo de colegas especiais a quem muito

admiro. Ao Fernando Taddeo, agradeço especialmente por compartilhar seu equipamento e estar sempre interessado no avanço do trabalho. Ao meu companheiro Erick de Lima, obrigada pelas horas compartilhadas no laboratório, as instruções com o espectrofotômetro e a disposição ilimitada em ajudar. Meninas do sushi, vocês se tornaram especiais, indispensáveis e insubstituíveis, Yvette Alania, Lívia Natale e Mariel Maas.

Ao meu especialmente querido, Ezequias Rodrigues, obrigada pelo seu carinho, cuidado e parceria. Ganhei em você um amigo, um grande amigo. E Mariana Reis, que me acolheu antes mesmo que eu ingressasse. Obrigada amiga, igual a você, não existe ninguém. Vocês são mais que especiais.

Rosa Cristina e Elidamar, vocês são peças fundamentais nas nossas vidas acadêmicas. Obrigada pelo cuidado e sincera preocupação. Dona Fran, obrigada pelas conversas e o cafezinho de todos os dias. Admiro muito vocês.

Antônio Lascala, a sua dedicação é algo mais que surpreendente. Sem sua ajuda não teria sido possível realizar os testes. Você é um exemplo para todos.

Aos fabricantes 3M ESPE e Ivoclar Vivadent, obrigada pelos materiais doados para a pesquisa.

À CNPq, agradeço pela concessão da bolsa de mestrado.

.

Agradecimento especial ao meu orientador Igor Studart Medeiros, que foi um homem de fé. Exemplo de profissional que despertou em mim um interesse particular pela pesquisa na área dos materiais dentários. Exemplo de mestre que faz a gente acreditar que este é um bom e digno caminho. Me acolheu de maneira generosa e tem sido um amigo. Obrigada pela oportunidade. Sinceramente, obrigada.

Não importa aonde você parou...

Em que momento da vida você cansou...

O que importa é que sempre é possível e necessário "Recomeçar".

Recomeçar é dar uma chance a si mesmo...

É renovar as esperanças na vida e o mais importante...

Acreditar em você de novo.

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

Almeida SBM. Avaliação das propriedades físicas de resinas compostas restauradoras pré-aquecidas e resinas fluidas com a finalidade de cimentação de facetas cerâmicas. [Dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2016. Versão Original.

Este estudo teve o objetivo de avaliar as propriedades físicas de resinas compostas restauradoras pré-aquecidas e de resinas fluidas com finalidade de cimentação de facetas de cerâmicas em comparação aos cimentos resinosos. Foram produzidos corpos de prova de duas marcas comerciais 3M ESPE e Ivoclar Vivadent, sendo: duas resinas restauradoras (Filtek Z250XT e Tetric N Ceram) nas condições: temperatura ambiente (RZ e RT), aquecidas à 45°C (RZ45 e RT45), aquecidas à 60°C (RZ60 e RT60); duas resinas fluidas (Filtek Z350 Flow e Tetric N Flow) denominadas FZ e FT e dois cimentos resinosos (Relyx Veneer e Variolink N) denominados CR e CV. Os grupos experimentais foram avaliados quanto à espessura de película por duas metodologias, resistência à flexão biaxial (RFB) e módulo de elasticidade (ME) executados em máquina de ensaio universal (modelo 5565, Instron Corp, Canton MA, EUA), microdureza Knoop feitas em microdurômetro (Shimadzu HMV-2, Tóquio, Japão) e diferença de cor (ΔE), razão de contraste e opalescência realizadas no espectrofotômetro CM-3770 (Konica Minolta, Japão). Os dados foram avaliados por análise de variância e teste de Tukey ($p < 0,05$). As resinas restauradoras apresentaram películas com espessura maiores que 100 μm , enquanto as resinas fluidas e os cimentos resinosos apresentaram valores menores que 50 μm . Os grupos experimentais RZ, RZ45 e RZ60 apresentaram os maiores valores de KHN, RFB e ME. Os grupos RT, RT45, RT60, FT, CV e CR apresentaram os menores valores de RFB e semelhantes entre si. Para a KHN, os grupos RT, RT45, RT60, FZ e CR apresentaram valores intermediários e semelhantes entre si, e superiores aos grupos FT e CV. Os resultados de ΔE mostraram valores acima de 2 para todos os grupos experimentais, com exceção do RZ60. Os maiores valores de ΔE foram evidenciados nos grupos RT45 e RT60. A razão de contraste foi estatisticamente menor para o grupo CV e os maiores valores de opacidade foram encontrados nos grupos RZ, RZ45 e FZ. A opalescência foi superior nos grupos FZ, CR, FT e CV. Considerando as limitações do presente estudo, concluiu-se que os

tratamentos térmicos não alteraram as propriedades mecânicas das resinas restauradoras e não promoveram uma redução da espessura de película que atenda aos requisitos da ISO4049. As resinas fluidas e os cimentos apresentaram espessura de película inferior à 50µm e propriedades mecânicas que atendem à normativa ISO4049. A opalescência maior foi encontrada nos cimentos resinosos e a diferença de cor e razão de contraste apresentaram resposta grupo dependente.

Palavras-chave: cimentação de facetas, cimentação adesiva, pré-aquecimento de resinas compostas, características físicas de resinas compostas.

ABSTRACT

Almeida SBM. Evaluation of the physical properties of preheated restorative resin composites and fluid resins for ceramic veneer cementation [dissertation]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2016.

The objectives of this study were to evaluate the physical properties of preheated restorative resin composites and fluid resins with the purpose of cementation of ceramic veneers in comparison to resin cements. Specimens were prepared with two restorative resin composites (Filtek Z250XT and Tetric N Ceram), in the following conditions: room temperature (RZ; RT), heated at 45°C (RZ45; RT45), and heated at 60°C (RZ60; RT60). Two flowable resins (Filtek Z350 Flow and Tetric N Flow) named FZ and FT and two resin cements (Relyx Veneer and Variolink N), called CR and CV, were also used. The experimental groups were evaluated in regards to film thickness with two methodologies; biaxial flexure strength (BFS) and modulus of elasticity (ME) (model 5565, Instron Corp, Canton MA, USA); Knoop microhardness test (KMT) (Shimadzu HMV-2, Tokyo, Japan), color difference (ΔE), contrast ratio and opalescence test (CM-3770d, Konica Minolta, Japan). Data were assessed by ANOVA and a post-hoc Tukey test ($p < 0.05$). The restorative resins presented film thickness larger than 50 μ m, whereas the flowable resins and resin cements showed inferior values. The experimental groups RZ, RZ45 and RZ60, revealed greater values of KHN, BFS and ME. The RT, RT45, RT60, FT, CV and CR groups showed lower values for BFS and similar to each other. For KHN the RT, RT45, RT60, FZ and CR groups exposed intermediate and similar values to each other, and superior values to FT and CV groups. Color difference (ΔE) results demonstrated results superior than 2 for all experimental groups, with the exception of RZ60 group. The greater values of ΔE were shown in RT45 and RT60 groups. Contrast ratio was statistically lower for the CV group and the highest values of opacity were verified in RZ, RZ45 and FZ groups. Opalescence was superior in FZ, CR, FT and CV groups. Considering the limitations of this study, the results demonstrated that preheated treatments did not modify the mechanical properties of restorative resin composites and didn't reduce film thickness which attend to ISO4049 parameters. Flowable

resins and cements obtained film thickness inferior to 50µm and biaxial flexure strength results that are presented by the ISO4049. The greater opalescence was shown in the resin cements, also color difference and contrast ratio revealed results that were group dependent.

Keywords: veneer cementation, adhesive cementation, preheated resin composites, physical properties of resin composites.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 4.1 - Descrição dos materiais avaliados	39
Quadro 4.2 - Descrição dos grupos experimentais de compostos resinosos	40
Figura 4.1 Medidas de espessura de película em duas metodologias	43
Figura 5.1 - Médias e desvios padrão de espessura de película obtidas nos ensaios ESP ISO e ESP PC. Letras minúsculas iguais indicam semelhanças estatísticas no ensaio ESP ISO. Letras maiúsculas iguais indicam semelhanças estatísticas no ensaio ESP PC	51
Figura 5.2 - Correlação entre medidas obtidas no ensaio ESP ISO e ESP PC	52
Figura 5.3 - Médias e desvios padrão de resistência à flexão biaxial. Letras iguais indicam semelhanças estatísticas	53
Figura 5.4 - Médias e desvios padrão de microdureza Knoop dos grupos avaliados. Letras iguais indicam semelhanças estatísticas	54
Figura 5.5 - Médias e desvios padrão de módulo de elasticidade (ME) dos grupos avaliados. Letras iguais indicam semelhança estatística	55
Figura 5.6 - Médias e desvios padrão da diferença de cor (ΔE) dos grupos avaliados. Ressalta-se que o ΔE foi calculado em comparação ao cimento resinoso de mesmo fabricante. Letras iguais indicam semelhança estatística	56
Figura 5.7 - Médias e desvios padrão da razão de contraste (RC) dos grupos avaliados. Letras iguais indicam semelhança estatisticamente significativa.....	57
Figura 5.8 - Médias e desvios padrão da opalescência dos grupos avaliados. Letras iguais indicam semelhança estatística.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BAPO	fenil bis (2,4,6 – trimetilbenzoil) óxido fosfino
ISO	International Standard Organization
KHN	microdureza Knoop
LED	light emitting diode
ME	modulo de elasticidade
PPD	1 fenil – 1,2 – propadiona
RFB	resistência à flexão biaxial
RPM	rotações por minuto
TEGDMA	trietileno glicol dimetacrilato
TPO	óxido fosfino

LISTA DE SÍMBOLOS

μm	micrômetro
ΔE	diferença de cor
$^{\circ}\text{C}$	graus Celsius
W	Watts
cm	centímetro
mm	milímetro
min	minuto
nm	nanômetro
mW/cm^2	miliwatt por centímetro quadrado
ml	mililitro
kg	quilograma
s	segundos
$^{\circ}$	graus
mm/min	milímetro por minuto
MPa	mega Pascal
N	Newton
g	grama
L^*	luminosidade
a^*	coordenada a^*
b^*	coordenada b^*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	29
2.1	COMPÓSITOS RESINOSOS	29
2.2	CIMENTOS RESINOSOS	30
2.3	RESINA FLUIDA	32
2.4	RESINA COMPOSTA RESTAURADORA E AQUECIMENTO	33
3	PROPOSIÇÃO	37
4	MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1	MATERIAIS UTILIZADOS	39
4.2	PRODUÇÃO DOS DISCOS DE CERÂMICA FELDSPÁTICA	40
4.3	TRATAMENTO TÉRMICO	41
4.4	CARACTERIZAÇÃO DA FONTE DE LUZ FOTOATIVADORA	42
4.5	MÉTODOS	42
4.5.1	Espessura de película	42
4.5.2	Propriedades mecânicas	44
4.5.2.1	Resistência à flexão biaxial (RFB) e módulo de elasticidade (ME)	44
4.5.2.2	Microdureza Knoop	46
4.5.3	Propriedades ópticas	46
4.5.3.1	Preparação dos corpos de prova	46
4.5.3.2	Ensaio de propriedades ópticas	47
4.5.3.2.1	Diferença de cor (ΔE)	47
4.5.3.2.2	Razão de contraste (RC)	48
4.5.3.2.3	Opalescência	48
5	RESULTADOS	51
5.1	ESPESSURA DE PELÍCULA	51
5.2	PROPRIEDADES MECÂNICAS	53
5.2.1	Resistência à flexão biaxial	53
5.2.2	Microdureza	54
5.2.3	Módulo de elasticidade	55
5.3	PROPRIEDADES ÓPTICAS	56
5.3.1	Diferença de cor (ΔE)	56
5.3.2	Razão de contraste (RC)	57

5.3.3	Opalescência	58
6	DISCUSSÃO	59
6.1	ESPESSURA DE PELÍCULA	59
6.2	PROPRIEDADES MECÂNICAS	62
6.3	PROPRIEDADES ÓPTICAS	66
7	CONCLUSÕES	71
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

Materiais restauradores indiretos estéticos vêm a cada dia se mostrando mais frequentes na terapia odontológica, com especial destaque para as facetas cerâmicas. Dentre os diversos tipos de cerâmicas, as porcelanas feldspáticas e as vitrocerâmicas são opções usadas para confecção de facetas com durabilidade e excelente estética (1, 2). Estes materiais apresentam qualidades ópticas que mimetizam o tecido dentário, elevada estabilidade de cor, compatibilidade com o tecido periodontal e resistência mecânica compatível com esta indicação (2-4). Contudo, o êxito dos procedimentos reabilitadores com uso das porcelanas está na dependência, dentre outros fatores, do material de cimentação.

Os cimentos resinosos são os materiais de eleição para cimentação das facetas (5), pois promovem a retenção dos laminados cerâmicos com união químico-mecânica entre a peça, o cimento e a estrutura dentária, o que permite que se comportem como uma estrutura de corpo único, com distribuição mais favorável das tensões geradas durante o uso (1, 6, 7). Para tanto, a camada formada pelo cimento deverá ser contínua, homogênea e delgada para que permita uma boa adaptação da peça protética e ao mesmo tempo seja capaz de promover o vedamento marginal (8). Além disso, o agente de cimentação deve apresentar cor compatível com o propósito estético, pois devido a sua pequena espessura é possível a percepção das características ópticas do cimento e do substrato dentário (5, 9-11).

O cimento resinoso fotoativado é preferível pela sua maior estabilidade de cor (1, 5, 10, 12). Os cimentos ativados quimicamente ou de ativação dual são menos indicados pela presença de aminas aromáticas como agentes iniciadores da reação de polimerização que podem, com o tempo, alterar a cor da matriz resinosa, tornando-as mais amareladas, podendo comprometer a estabilidade da cor (1). Embora pesquisas já venham experimentando novos fotoiniciadores como TPO, BAPO ou PPD para reduzir os efeitos de amarelamento dos cimentos duais, ainda são necessárias mais pesquisas para avaliar sua estabilidade à longo prazo (13-15).

Com o propósito de buscar um material alternativo capaz de garantir os requisitos necessários para uma cimentação resinosa (1, 10), muitos pesquisadores têm estudado as resinas compostas fluidas (4, 16, 17) e as resinas compostas

restauradoras pré-aquecidas (1, 18). Comparativamente, cimentos resinosos, resinas fluidas e resinas restauradoras apresentam uma matriz orgânica muito semelhante. A sua maior diferença encontra-se na proporção de monômeros diluentes na matriz e quantidade de partículas inorgânicas com consequências na viscosidade destes materiais (16)

Diversos dispositivos de aquecimento de resinas compostas estão disponíveis no mercado e são desenhados para acomodar a bisnaga de resina composta, mantendo-a aquecida na temperatura desejada (19). Um achado relevante foi observado no estudo laboratorial feito por Daronch et al. que aponta que, após 2 min, a temperatura da resina composta previamente aquecida reduz em torno de 50% em relação à temperatura de aquecimento, chegando a 90% de perda de calor após 5 minutos (20). Deste modo, estes dispositivos apresentam uma limitação no tempo de trabalho com a resina aquecida, pois a redução da temperatura e aumento da viscosidade pode comprometer o preenchimento das irregularidades internas da peça, além de promover uma elevada espessura na linha de cimentação.

Um novo equipamento foi desenvolvido no Departamento de Biomateriais e Biologia Oral da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo (FOUSP) para o aquecimento de materiais odontológicos. Este equipamento apresenta uma câmara térmica que permite o aquecimento simultâneo do incremento de resina composta e da peça protética. Esta estratégia pressupõe menor taxa de resfriamento da resina composta restauradora previamente aquecida e possível aumento do tempo de trabalho

O pré-aquecimento das resinas compostas restauradoras tem sido usada para torná-las mais fluidas (21-26) e melhorar sua adaptação às paredes das cavidades dos preparos dentários. Outra finalidade proposta com o aquecimento deste material é permitir que seja usado para fixar facetas de porcelana (1, 18, 27, 28). Dentre os aspectos favoráveis ao uso de compósitos restauradores aquecidos estão: maior grau de conversão e consequente melhoria das propriedades mecânicas se comparados aos compósitos não aquecidos (18, 29). Pode-se esperar também que o aquecimento das resinas restauradoras diminua a espessura da película formada e favoreça sua adaptação à superfície interna da peça e ao substrato dentário, diminuindo a possibilidade de microinfiltração (30).

Poucos foram os trabalhos na literatura que relacionam o pré-aquecimento de resinas restauradoras para cimentação de facetas de cerâmicas e nenhum avalia o pré-aquecimento simultâneo da resina restauradora e da faceta com relação à espessura de película, dureza, resistência à flexão biaxial, módulo de elasticidade e propriedades ópticas destes materiais. Na busca de uma maior compreensão das propriedades físicas e espessura de película das resinas restauradoras previamente aquecidas e resinas fluidas com vistas à cimentação de facetas cerâmicas, torna-se relevante a realização do presente trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 COMPÓSITOS RESINOSOS

Usados há anos na odontologia, os compósitos resinosos são materiais formados de três componentes básicos: uma matriz orgânica, que é formada por monômeros de dimetacrilatos, principalmente o Bis-GMA, inibidores com função de evitar a polimerização espontânea, modificadores de cor e sistema iniciador/ativador; partículas inorgânicas de carga, com funções principais de reforçar as propriedades mecânicas e reduzir a contração de polimerização; e agente de união, que une quimicamente as partículas de carga à matriz resinosa (31).

Conforme a proporção de componentes usados na fabricação do material, eles podem apresentar características distintas de fluidez, propriedades ópticas e resistência mecânica que permitem seu emprego de formas diversas. Entre os tipos de materiais e suas aplicações, podem-se incluir resinas compostas restauradoras, resinas fluidas, resinas *bulk*, selantes de sulcos e fissuras, cimentos endodônticos, cimentos para adesão de facetas cerâmicas e de coroas, pontes e outros tipos de próteses fixas (32, 33). Em todas as suas aplicações devem apresentar biocompatibilidade relacionada à composição dos monômeros e sua efetiva conversão em polímero, resistência à microinfiltração garantida pela adaptação marginal, qualidade estética, além de propriedades mecânicas que permitam suportar forças e conferir resistência ao material conforme a aplicação proposta (34).

As características reológicas dos compostos resinosos dependem intimamente da composição e proporção de monômeros da matriz orgânica e das partículas de carga inorgânica. A maioria deles apresenta matriz orgânica composta por Bis-GMA e TEGDMA como monômero diluente, que se associam às partículas de carga para melhorar as características físicas como resistência à abrasão, resistência do material, dureza e ainda reduzem a contração de polimerização e o coeficiente de expansão térmica (35).

Atualmente, na prática clínica, resinas fluidas e resinas restauradoras aquecidas vêm sendo utilizadas também com a finalidade de adesão de peças protéticas ao substrato dental devido seu custo reduzido e ampla variedade de cores (1, 27, 28).

2.2 CIMENTOS RESINOSOS

O cimento resinoso tem a finalidade de promover a ligação entre a estrutura protética e o substrato dental. Propriedades ideais para esta categoria de material são consideradas a biocompatibilidade, vedamento marginal para minimizar ou evitar a microinfiltração, baixa solubilidade em água, propriedades mecânicas que resistam às forças que ocorrem no ambiente bucal, baixa viscosidade, além de uma elevada adesão aos tecidos dentais. Além disso, as propriedades estéticas são consideradas indispensáveis especialmente quando os cimentos resinosos são utilizados para fixação de restaurações cerâmicas translúcidas, principalmente nos dentes anteriores (12, 34, 36-38). Além disso, a estabilidade da cor do cimento em função do tempo é outro aspecto relevante, daí a preferência por agentes de cimentação que não apresentem aminas terciárias para serem usados em dentes anteriores.

Estes cimentos podem ser apresentados em três modos de ativação: quimicamente ativado, de cura dual e fotoativados (2). Para a correta seleção deve-se observar que os de ativação por luz estão indicados para casos em que a peça protética tenha pequena espessura e a cor da restauração interfira minimamente à passagem de luz (5). Os cimentos resinosos exclusivamente fotoativados oferecem a vantagem, em relação aos outros cimentos resinosos, por permitirem um maior tempo de trabalho e maior estabilidade de cor (10, 38).

Apesar da diversidade de marcas comerciais presentes no mercado, algumas generalizações podem ser feitas a respeito dos cimentos resinosos fotoativados: apresentam resistência à tração e compressão, dureza e resiliência que se excedem a de outros agentes de cimentação não resinosos, baixa solubilidade em ambiente

bucal, qualidade estética desejável com opções de cores e formação de camada de película com espessura abaixo de 70 micrômetros. Entretanto, podem ser irritante pulpar, principalmente em regiões de pequena espessura de dentina remanescente, podem apresentar baixo módulo de elasticidade, são sensíveis à técnica e apresentarem custo relativamente elevado (7).

Entre os grupos de compostos resinosos, os cimentos são aqueles que apresentam o menor percentual de carga de partículas inorgânicas. O módulo de elasticidade das resinas foi relacionado ao percentual de partículas de carga inorgânica (3, 36). O baixo percentual de carga pode estar ligado a uma maior deformação elástica e deformação plástica excessiva, podendo ser relacionadas à fadiga ou falha no desempenho clínico. Um módulo de elasticidade com um valor médio entre o da restauração e do dente é desejável, pois poderia reduzir a concentração de tensão interfacial. Logo, os materiais para cimentação de laminados de porcelana deveriam ser compósitos resinosos com elevada quantidade de partículas de carga, baixa contração de polimerização, módulo de elasticidade compatível com o da estrutura dentária e alta fluidez (36).

Parte do sucesso do tratamento restaurador com facetas cerâmicas está na habilidade do cimento em aderir tanto ao substrato dentário quanto à superfície protética, o que pode reduzir o risco de propagação de trincas e propiciar um desempenho mecânico favorável à peça cerâmica. No caso de facetas de porcelana feldspática, é necessário tratamento de superfície com ácido fluorídrico associado ou não ao jateamento com óxido de alumínio, seguido de silanização da superfície cerâmica a ser cimentada. (5, 36).

Os cimentos disponíveis atualmente para cimentação de facetas de porcelana são usualmente ativados por luz visível e sua maior vantagem está na estabilidade de cor assim também como no maior tempo de trabalho, comparado aos cimentos de ativação química ou dual. Ainda, em relação aos cimentos fotoativados, estudos mostram que a excelente estabilidade de cor destes materiais está relacionada à ausência de aminas (presentes no sistema de ativação química), o que poderia causar mudanças de cor no material ao longo do tempo (10), porém são materiais que apresentam propriedades mecânicas inferiores às daquelas dos cimentos duais, como resistência à flexão, módulo de elasticidade, dureza e grau de conversão.

2.3 RESINA FLUIDA

Resina fluida é uma categoria de resina composta com indicações de auxiliar na solução de problemas clínicos, tais como reparo em margens não cariadas de restaurações com fratura, colagem de fragmentos dentários, selantes de fissuras, bases prévias às restaurações de resina composta e cimentação de facetas de porcelana de pequena espessura entre várias outras. Estas indicações baseiam-se no fato destas resinas apresentarem partículas de carga em menor quantidade e tamanho em relação às resinas restauradoras, fazendo com que se apresentem com uma viscosidade reduzida (16, 17).

Esta categoria de composto resinoso foi elaborada para apresentar baixa viscosidade pelo reduzido conteúdo de carga ou pela adição de outros agentes modificantes, como os surfactantes. O uso de modificadores, diluentes e surfactantes na matriz polimérica garantem a fluidez e evitam uma maior redução da quantidade de carga com consequente diminuição das propriedades mecânicas e aumento da contração (25, 33). Entretanto, a maior proporção de monômeros diluentes como o TEGDMA traz consigo efeitos indesejáveis como maior contração de polimerização e maior sorção de água (25, 39). Deste modo, sua aplicação deve ser bem indicada devido à sua menor resistência mecânica e maior contração de polimerização se comparadas às resinas compostas restauradoras (21, 27).

Estudo realizado por Prieto *et al* comparou resinas fluidas e cimentos resinosos duais utilizados para cimentação de facetas de cerâmica de pequena espessura sobre o esmalte dentário, concluindo que as resinas fluidas são uma alternativa eficaz, sendo capazes de promover adequado selamento entre a cerâmica e o substrato dental. Foi ainda concluído pelo autor que as resinas fluidas apresentam a capacidade de manter a estabilidade de cor com o passar do tempo (1, 40).

Por ser um material de ativação por luz, as resinas fluidas apresentam apenas aminas alifáticas em sua composição, o que tende a menor mudança de cor com o tempo, quando comparado aos cimentos duais, que apresentam tanto aminas

alifáticas como aromáticas. Logo, seu uso como agente de cimentação de facetas cerâmicas é uma alternativa legítima e segura (10).

Em trabalho realizado sobre a influência de cores das resinas fluidas utilizadas para cimentar facetas laminadas de cerâmicas, Perroni et al consideraram as resinas fluidas como alternativa ao cimento resinoso pelos benefícios proporcionados por suas propriedades físicas e particularmente suas características ópticas, assim também como sua relação custo-benefício comparada ao cimento resinoso (1, 41)

2.4 RESINA COMPOSTA RESTAURADORA E AQUECIMENTO

Resina restauradora é uma categoria entre os compostos resinosos, cuja finalidade principal é a de restauração estética direta de dentes. A composição de sua matriz orgânica é similar aos demais compósitos, com a presença de Bis-GMA associado a outros monômeros, fotoiniciadores, agentes de união de partículas e agentes de cor. Outra distinção deste material são as partículas de carga, que podem se apresentar em formas e tamanhos variados, o que divide estas resinas em categorias com finalidades distintas em relação às suas propriedades mecânicas, estéticas e capacidade de polimento (33).

O uso de resinas compostas restauradoras em dentes posteriores como substitutos de amálgama tem se tornado uma tendência em virtude da demanda estética e os questionamentos sobre o uso do mercúrio. Suas propriedades mecânicas elevadas e reduzida contração de polimerização tem encorajado os profissionais a usarem-na em dentes posteriores. Com o intuito de melhorar esta aplicação, o aquecimento destes materiais com aparelhos aquecedores portáteis tem se mostrado uma área interessante de estudo, pois há uma redução de sua viscosidade e maior facilidade na inserção nas cavidades dentárias, com uma adaptação marginal de qualidade superior (37, 42).

Resinas restauradoras aquecidas previamente à sua fotoativação têm sido usadas também como material de cimentação de facetas de cerâmica em razão de sua maior estabilidade de cor em comparação aos cimentos de ativação dual (1, 27, 29). Em relação às propriedades mecânicas, é observado que materiais com maior quantidade de partículas de carga apresentam maiores valores em comparação aos cimentos resinosos tradicionais ou sem carga (34).

Aparelhos comerciais como o Calset (AdDent Inc., Danbury, Connecticut, USA) estão sendo usados para aquecer o material e com isto aumentar a fluidez (20). O aquecimento melhora a consistência e manipulação dos materiais, assegurando adaptação às paredes do preparo cavitário diminuindo o potencial de aprisionamento de bolhas de ar e ainda aumentando a conversão dos monômeros, o que eleva as propriedades físicas e mecânicas na restauração final (21).

Em experimento realizado por Lucey et al. os autores puderam avaliar os efeitos do pré-aquecimento de resinas restauradoras na sua viscosidade e também na dureza. Como resultado, puderam confirmar aumento na dureza de resinas que foram submetidas ao pré-aquecimento provavelmente pela maior mobilidade dos monômeros durante o crescimento das cadeias poliméricas do material aquecido. Foi também observado o efeito do calor sobre a diminuição da viscosidade deste material (22).

Resinas convencionais aquecidas também têm sido usadas com a função de cimentar facetas de porcelana, pois além de promover a adequada retenção entre o dente e a porcelana, suas propriedades mecânicas poderão reforçar a estrutura frágil da porcelana (27). Segundo Spazzin et al., as propriedades mecânicas dos agentes de cimentação resinosos podem interferir com o reforço da porcelana (43). A longevidade do tratamento com facetas de porcelana está associada ao fato da peça restauradora ficar sujeita a tensões geradas pela contração de polimerização e à fadiga durante o uso. Deste modo, cimentos com baixo conteúdo de carga poderiam contribuir com a microinfiltração e geração de trincas no material.

O aquecimento de compósitos resinosos tem sido usado como estratégia para reduzir a viscosidade do material e com isto melhorar sua adaptação à cavidade feita com o preparo do dente (27). Aparelhos portáteis de aquecimento são utilizados para atingir a temperatura desejada e com isto auxiliar a utilização da resina

restauradora com a viscosidade diminuída. Esta condição permitiria o uso desta resina com a finalidade de cimentar peças protéticas formando uma camada mais delgada de cimentação (25, 30, 44).

Estudo realizado por Ayub et al. pesquisou o efeito do pré-aquecimento de resina restauradora na microdureza e viscosidade e verificou que o tratamento térmico foi capaz de reduzir a viscosidade dos materiais testados. Foi concluído também que o tratamento térmico foi capaz de aumentar a microdureza Knoop das amostras, sugerindo aumento das ligações cruzadas pós-irradiação (45).

D'Arcangelo et al. demonstraram sucesso clínico após 7 anos de instalação de facetas de porcelana cimentadas com resinas restauradoras aquecidas em equipamento portátil de consultório (Ena Heat, Micerium, Genova, Italy), no qual elevavam a temperatura do compósito à 39°C. O aquecimento do composto resinoso promovia diminuição da sua viscosidade, permitindo um assentamento das facetas sobre o esmalte dentário. Foram considerados critérios de avaliação, ausência de cárie secundária, adaptação marginal, descoloração marginal, discrepância de cor e forma anatômica (28).

A norma ISO 4049 para materiais restauradores de base polimérica recomenda que os materiais utilizados para cimentação sejam capazes de formar uma película de cimento com valor não superior a 50 µm. Por esta razão, estudos sobre o pré-aquecimento de resinas restauradoras são válidos para avaliação deste parâmetro.

3 PROPOSIÇÃO

A proposta geral deste trabalho foi de avançar na compreensão do comportamento físico de resinas compostas restauradoras aquecidas previamente à sua fotoativação utilizadas para cimentação de facetas de porcelana em comparação às resinas compostas fluidas e cimentos resinosos.

Objetivos específicos foram determinados para permitir uma melhor compreensão dos dados obtidos. São eles:

I - Avaliar a espessura de película formada pelos diversos agentes cimentantes.

Para este ensaio, a hipótese nula (H_0) foi que não haveria diferença significativa na espessura de película obtida pelas resinas compostas pré-aquecidas e resinas fluidas em comparação àquelas obtidas pelos cimentos resinosos e a comparação com os requisitos de espessura estabelecidos pela norma ISO4049.

II – A partir dos testes de resistência à flexão biaxial (RFB) e microdureza Knoop, caracterizar o comportamento mecânico dos materiais.

A hipótese nula (H_0) para esta análise foi que não haveria diferença significativa no comportamento mecânico das resinas compostas restauradoras em todas as condições e a resina fluida em comparação com o cimento resinoso.

III – Através da espectrofotometria de UV-visível, caracterizar o comportamento óptico das resinas compostas restauradoras pré-aquecidas e das resinas fluidas e compará-las aos cimentos resinosos, através de medidas de diferença de cor (ΔE), razão de contraste e opalescência.

A hipótese nula (H_0) é a de que os compostos resinosos pré-aquecidos e resinas fluidas apresentam comportamento óptico similar ao cimento resinoso.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para realização dos experimentos propostos foram utilizadas duas marcas comerciais 3M ESPE e Ivoclar Vivadent, sendo: duas resinas restauradoras (Filtek Z250XT e Tetric N Ceram), duas resinas fluidas (Filtek Z350 Flow e Tetric N Flow) e dois cimentos resinosos (Relyx Veneer e Variolink N), descritos no quadro 4.1. Uma cerâmica feldspática sinterizada (cerâmica Vita Mark II, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany, cor 1M2C, Lote 46201) foi utilizada para a confecção de discos.

Quadro 4.1 – Descrição dos materiais avaliados

FABRICANTE	MARCA	CATEGORIA	COMPOSIÇÃO	CARGA (% peso)	PARTÍCULA	COR	LOTE
3M ESPE	FILTEK Z250 XT	Resina restauradora	Bis-GMA, UDMA Bis-EMA TEDMA e PEGDMA	55-65%	0.6 µm	A1	1606100454
	FILTEK Z350 FLOW	Resina fluida	Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA.	50-60%	0.6 - 1.4 µm	A1	1612500188
	RELYX VENEER	Cimento resinoso	Bis-GMA, TEGDMA	55-66%	0.6 µm	A1	N718000
IVOCALAR VIVADENT	TETRIC N-CERAM	Resina restauradora	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA	63%	0.04-3 µm	A1	U48633
	TETRIC N-FLOW	Resina fluida	Bis-GMA, TEGDMA, UDMA.	64%	0.6µm	A1	U55045
	VARIOLI NK N	Cimento resinoso	Bis-GMA, TEGDMA UDMA	73.4%	0.7 µm	A1	U32082

As resinas compostas restauradoras foram submetidas a tratamento térmico previamente à sua fotoativação para que fossem analisados de acordo com os

testes propostos. O quadro abaixo indica os grupos experimentais produzidos, com os respectivos tratamentos térmicos e siglas usadas para identificar os grupos.

Quadro 4.2 – Descrição dos grupos experimentais de compostos resinosos

FABRICANTE	MATERIAL	MARCA	TEMPERATURA	GRUPO
3M ESPE	Resina restauradora	FILTEK Z250 XT	24°C	RZ
			45°C	RZ45
			60°C	RZ60
	Resina fluida	FILTEK Z350 FLOW	24°C	FZ
	Cim. Resinoso	RELYX VENEER	24°C	CR
IVOCLAR VIVADENT	Resina restauradora	TETRIC N CERAM	24°C	RT
			45°C	RT45
			60°C	RT60
	Resina fluida	TETRIC N FLOW	24°C	FT
	Cim. Resinoso	VARIOLINK N	24°C	CV

4.2 PRODUÇÃO DOS DISCOS DE CERÂMICA FELDSPÁTICA

Os blocos de cerâmica Vita Mark II (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany, cor 1M2C) foram cortados em uma máquina de corte (ISOMET 1000, Buehler) com discos diamantados de 0,4 mm de espessura. Após o corte, as fatias de cerâmica apresentaram espessura de 1,3 mm. Com o uso de uma caneta de alta rotação e uma ponta diamantada (FG 1019, FG KG Sorensen, Cotia, SP, Brasil) sob refrigeração com spray de ar e água, os ângulos foram recortados para que cada fatia ficasse com a forma de disco, com o diâmetro final de 12 mm.

Para a redução da espessura dos discos e posterior polimento, os espécimes foram posicionados em uma politriz semiautomática (Buehler Ecomet 3) e foram submetidos a uma sequência de discos diamantados de 45, 15, 6 e 3 µm, a fim de apresentarem as dimensões finais de 12 mm de diâmetro e 1 mm de espessura.

4.3 TRATAMENTO TÉRMICO

A busca de informações na literatura e experimentos piloto foram realizados para determinar o tempo necessário para se aquecer o material e também as temperaturas utilizadas para pré-aquecimento das resinas restauradoras.

Para avaliar o desempenho das resinas compostas restauradoras aquecidas previamente à sua fotoativação, foi elaborado um protocolo de tratamento térmico no aparelho aquecedor experimental (F170) desenvolvido no Departamento de Biomateriais e Biologia Oral da FOU SP.

O aparelho aquecedor (F170) apresenta um microcontrolador de temperatura com precisão de 0.2°C, sendo alimentado por uma fonte de alimentação bivolt. A resistência elétrica utilizada (RLD60, Loud, potência 60W) suporta aquecimento até 450°C, no entanto, o microcontrolador foi programado para temperaturas até 170°C no interior da câmara térmica. Esta câmara térmica apresenta dimensões de 3.2 cm de diâmetro por 1,5 cm de profundidade, é feita de aço inoxidável e é revestida internamente com lã de rocha e externamente por silicone.

Para aferir a capacidade de aquecimento e manutenção da temperatura desejada, foram realizados testes preliminares com um par termoeletrico (Salvterm 1200 K – Salcas Ind. Com. Ltda) no interior da resina composta restauradora acomodada sobre um disco de porcelana no interior da câmara térmica, a fim de assegurar que esta atingiria a temperatura desejada e que fosse mantida pelo tempo proposto.

Conforme o corpo de prova a ser preparado, volume correspondente de resina composta restauradora foi colocado sobre um disco de porcelana (Vita Mark II, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany) preparado previamente nas dimensões de 12 mm de diâmetro por 1 mm de espessura. O conjunto formado pela porcelana e a porção de resina era colocado no interior da câmara de aquecimento do aparelho F170 previamente aquecido na temperatura selecionada para cada condição proposta, a saber, 45°C e 60°C. O conjunto era mantido no interior da câmara por um tempo constante de 3 min para assegurar a homogeneização de temperatura da resina restauradora.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DA FONTE DE LUZ FOTOATIVADORA

Para a fotoativação dos materiais utilizados neste estudo, foi utilizado o aparelho de fotoativação com LED (Valo Cordless <Ultradent, South Jordan, UT, USA>) que apresenta banda de emissão entre 395-480 nm, utilizado em modo de irradiância constante de 1000 mW/cm².

4.5 MÉTODOS

4.5.1 Espessura de película

Para avaliar a espessura de película dos materiais, dois métodos foram usados. Para ambos os métodos, foi mantido o cuidado de realizar os experimentos em ambiente com temperatura controlada de 24°C ($\pm 1^\circ\text{C}$). Esquema de medidas está representado na figura 4.1.

Uma das medidas foi realizada conforme preconiza a norma ISO 4049. Neste teste foram usadas duas placas de vidro opticamente planas, com espessura de 5 mm cada. Tiras de poliéster foram colocadas entre as placas de vidro para que a amostra a ser medida pudesse ser posicionada sem aderir à placa e não interferir na medida. Um volume constante de 0,03 ml de amostra foi medido em uma seringa para insulina (BD Medical, São Paulo, SP, Brasil), com capacidade para 1 ml e subdivisões de volume em 100 partes (0,01 ml). Sobre a placa inferior, coberta pela tira de poliéster, uma amostra de 0,03 ml era posicionada e coberta por outra camada de poliéster e a segunda placa de vidro. Com o auxílio de uma paralelômetro, um peso constante de 15 kg era aplicado sobre este conjunto, cuidando para que não houvesse rotação entre as placas, e ali permanecia por 180 segundos. Após o tempo decorrido, o peso era removido e a amostra era então fotoativada por 40 segundos, tempo correspondente ao dobro daquele indicado pelo fabricante. Esta amostra então era medida em um paquímetro de precisão de 1 μm

(Mitutoyo, EUA). Para cada condição de material, 5 medidas foram realizadas e os resultados organizados em tabelas para posterior análise. Este método foi denominado ESP ISO.

Figura 4.1 – Medidas de espessura de películas em duas metodologias

As amostras que receberam tratamento térmico foram mantidas por 3 minutos no equipamento F170, sobre um disco de porcelana, a fim de padronizar o método de aquecimento. As placas de vidro foram mantidas a uma temperatura de 24°C, para todos os ensaios.

Uma segunda forma de avaliar a espessura de película formada pelos compostos resinosos foi realizada. Neste segundo método, dois discos de porcelana Vita Mark II (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany, cor 1M2C), de dimensões de 12 mm de diâmetro e 1 mm de espessura foram usados. Uma primeira medida dos dois discos sobrepostos um ao outro foi realizada no paquímetro de precisão. Em seguida, sobre um dos discos, foi depositada uma medida constante de 0.02 ml de amostra do composto a ser avaliado. Aqueles que receberiam tratamento térmico eram inseridos por 3 minutos dentro da câmara aquecedora do aparelho F170, sendo aquecidos juntamente à amostra e o disco de porcelana. Este padrão foi seguido com a finalidade de diminuir a taxa de resfriamento do composto resinoso.

Após o tempo de aquecimento determinado o segundo disco de porcelana era posicionado de forma centralizada sobre a amostra e sobre este conjunto um peso de 1.5 kg era mantido com o auxílio de um paralelômetro por 180s, quando então nova medida do conjunto era realizada. A diferença entre a medida inicial feita somente com os discos de porcelana e a nova medida do conjunto formado pelos dois discos com a amostra interposta correspondia à espessura de película formada pelo material testado. Neste teste também foram realizadas 5 medidas para cada condição experimental. Este método foi denominado ESP PC.

Os dados de cada ensaio foram organizados em tabela para análise e comparação. Foram realizados os testes de normalidade e homocedasticidade, análise de variância (1 fator) e teste de Tukey ($p < 0,05$). Além disso, foi estabelecida a correlação de Person entre as médias obtidas em cada metodologia.

4.5.2 Propriedades mecânicas

4.5.2.1 Resistência à flexão biaxial (RFB) e módulo de elasticidade (ME)

Para a medida da resistência à flexão biaxial (RFB) e o módulo de elasticidade (ME) dos materiais estudados, 10 corpos de prova de cada grupo experimental foram confeccionados em forma de disco (12 mm diâmetro x 1 mm espessura) em uma matriz de aço. Volumes constantes de amostra foram inseridos na matriz, cobertos com uma tira de poliéster e pressionadas com uma lâmina de vidro a fim de formar uma superfície plana regular e com medida de espessura constante. Sobre esta superfície foi realizada a fotoativação por 20 segundos com o aparelho fotoativador anteriormente descrito. Em seguida os corpos de prova foram removidos da matriz e as bordas removidas com o uso de lixa de granulação 600, permitindo um acabamento regular dos corpos de prova. As dimensões dos discos foram aferidas com paquímetro digital (Mitutoyo, Tóquio, Japão) e se aprovadas, foram armazenados em água destilada a 37°C por 24 horas.

O teste de resistência à flexão biaxial foi realizado em um dispositivo do tipo “pistão sobre três bolas”, cuja base apresenta esferas de aço de 2.5 mm de diâmetro dispostas em um círculo com 10 mm de diâmetro a 120° uma da outra. Este dispositivo foi então posicionado em uma máquina de ensaios universal (modelo 5565, Instron Corp, Canton MA, EUA). Os corpos de prova foram centralizados sobre as esferas com a face irradiada correspondendo à superfície na qual ocorreu o carregamento. A carga foi aplicada no centro do disco com um pistão de ponta plana e 1.2 mm de diâmetro. Um defletoômetro (modelo W401-E, Instron Corp, Norwood, MA, EUA) foi posicionado sob o centro do disco a fim de monitorar o deslocamento na região.

O ensaio foi feito com uma taxa de carregamento de 0,5 mm/min. A resistência à flexão biaxial (σ_{BI}), em MPa, foi calculada utilizando as seguintes equações:

$$\sigma_{BI} = -0,2387 P (X-Y) / b^2$$

$$X = (1+\nu) \ln (r_2/r_3)^2 + [(1-\nu)/2](r_2/r_3)^2$$

$$Y = (1 + \nu) [1 + \ln (r_1/r_3)^2] + (1 - \nu) (r_1/r_3)^2 ,$$

onde P é a carga máxima de fratura (em N); b é a espessura do disco (em mm); ν é o coeficiente de Poisson; r_1 é o raio do círculo em que estão posicionadas as esferas de aço (5.0 mm); r_2 é o raio da ponta do pistão ou da área de aplicação da carga (0.6 mm); r_3 é o raio do disco (em mm). O coeficiente de Poisson adotado foi de 0.30 para todos os materiais.

Os valores de módulo de elasticidade (ME) foram calculados utilizando a seguinte equação:

$$E = \beta P \alpha^2 / \omega h^3$$

onde E é o módulo de elasticidade (em MPa), β é uma constante relacionada à deflexão do disco na região central (0,509), P é a carga aplicada (em N), a é o raio do disco (em mm), ω é a deflexão no centro e h é a espessura do disco (em mm).

4.5.2.2 Microdureza Knoop

Os testes de microdureza Knoop foram executados nos fragmentos dos corpos de prova testados em flexão biaxial. Para sua utilização, os fragmentos dos corpos de prova foram identificados e armazenados após a fratura por 24 horas em água destilada à 37°C.

As leituras de microdureza foram feitas no microdurômetro (Shimadzu HMV-2, Tóquio, Japão), utilizando a carga equivalente a 50 g por 15 s, na face irradiada. Cinco medidas foram tomadas em cada espécime, com distância de no mínimo 200 μm entre cada medida em 5 corpos de prova.

Os resultados dos testes mecânicos foram analisados em relação à homocedasticidade e normalidade e realizada a análise de variância e teste de Tukey com nível global de significância de 5% para determinar as diferenças entre os grupos estudados.

4.5.3 Propriedades ópticas

4.5.3.1 Preparação dos corpos de prova

Para avaliação das propriedades ópticas dos materiais, oito corpos de prova foram produzidos para cada condição experimental proposta. Os corpos de prova foram feitos à semelhança daqueles usados para os testes de resistência à flexão biaxial, em formato de disco com 12 mm de diâmetro e 1 mm de espessura.

4.5.3.2 Ensaios de Propriedades ópticas

Todas as amostras foram analisadas no espectrofotômetro CM-3770 (Konica Minolta, Japão), que opera na faixa de comprimentos de onda (λ) da luz visível (360 a 740 nm). Leituras de transmitância total e reflectância sobre fundo branco e fundo preto geraram os dados para que as análises propostas fossem feitas.

4.5.3.2.1 Diferença de cor (ΔE)

Todas as amostras foram submetidas à análise de cor para registro. A partir dos dados obtidos pelas medidas do espectrofotômetro, foram calculadas as diferenças de cor entre os corpos de prova produzidos com a resina restauradora em todas as condições experimentais, as resinas fluidas e os cimentos resinosos. Para cada marca comercial de produtos, o cimento resinoso foi a referência para o cálculo do ΔE em relação a cada condição experimental.

A diferença de cor dos materiais testados foi obtida comparando os valores apresentados pelas resinas restauradoras nas diferentes condições de aquecimento e resinas fluidas em relação ao cimento resinoso de cada fabricante, a partir dos parâmetros L , a e b do sistema de cores criado pela *International Commission of Illumination* (*Comission Internationale de l'Eclair*) e designado como CIE-Lab. Nesse sistema o parâmetro L^* representa o brilho (lightness), a^* representa a coordenada cromática vermelho-verde ($+a^*$ indica vermelho e $-a^*$ indica verde) e b^* representa a coordenada amarelo-azul ($+b^*$ indica amarelo e $-b^*$ indica azul).

Essa diferença de cor, denominada ΔE foi obtida pela seguinte fórmula:

$$\Delta E = [(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2]^{1/2}$$

onde L , a e b representam os parâmetros finais de cor dos grupos experimentais (resinas restauradoras e resina fluida) e L_0 , a_0 e b_0 são os parâmetros iniciais medidos nos cimentos resinosos.

4.5.3.2.2 Razão de Contraste (RC)

A razão de contraste (RC) dos materiais foi obtida pela razão entre a reflectância da amostra sobre o fundo preto (Y_b) e a reflectância da mesma amostra sobre o fundo branco (Y_w), onde $RC = Y_b/Y_w$, sendo que RC pode variar de 0 a 1, sendo RC = 0 considerado transparente e RC = 1 considerado opaco.

4.5.3.2.3 Opalescência

A opalescência é uma propriedade óptica produzida pelo espalhamento dos comprimentos de onda mais curtos do espectro da luz visível, produzindo um tom azulado ao objeto com a luz incidente e mais alaranjado com a luz transmitida.

O parâmetro de opalescência foi calculado a partir da diferença entre as coordenadas de cor amarelo-azul (CIE Δb^*) e as vermelho-verde (CIE Δa^*) entre os espectros refletidos e transmitidos de acordo com as fórmulas:

$$OP = [(\text{CIE } \Delta a^*)^2 + (\text{CIE } \Delta b^*)^2]^{1/2},$$

a qual se traduz em:

$$OP = [(\text{CIE } a_T^* - \text{CIE } a_R^*)^2 + (\text{CIE } b_T^* - \text{CIE } b_R^*)^2]^{1/2}$$

onde T subscrito refere-se ao modo de transmitância em uma calibração neutra (CIE $L^* = 0$, $a^* = 0$, $b^* = 0$) e R refere-se ao modo de reflectância em um fundo preto (CIE

$L^* = 0.2$, $a^* = 0.4$ e $b^* = -0.6$) sem agente acoplante. Foram utilizados para o cálculo da opalescência os dados obtidos nos testes de espectrofotometria.

Para todos os testes, os valores de leitura e os resultados dos testes foram organizados em tabelas e os resultados foram analisados por meio de análise de variância e teste de Tukey com nível global de significância de 5% para determinar as diferenças entre os grupos estudados.

5 RESULTADOS

5.1 ESPESSURA DE PELÍCULA

A análise dos resultados de espessura considerou duas técnicas distintas de medidas. Uma das técnicas atendeu as especificações da ISO 4049 (ESP ISO) e outra por meio da interposição do material testado entre dois discos de porcelana (ESP PC).

Para ambos os ensaios, os dados foram homocedásticos e normais e apresentaram significância na análise de variância ($p < 0,001$). As diferenças entre as médias para cada grupo nos ensaios de medida de espessura de película foram evidenciadas pelo teste de Tukey (Figura 5.1).

Figura 5.1 - Médias e desvios padrão de espessura de película obtidas nos ensaios ESP ISO e ESP PC. Letras minúsculas iguais indicam semelhanças estatísticas no ensaio ESP ISO. Letras maiúsculas iguais indicam semelhanças estatísticas no ensaio ESP PC

Para ambos os ensaios, ESP ISO e ESP PC, os grupos de resina composta apresentaram resultados superiores aos obtidos com os cimentos resinosos ou resinas fluidas. Portanto, as menores espessuras foram obtidas pelos cimentos resinosos (CR e CV) que foram estatisticamente semelhantes às obtidas pelas resinas fluidas (FZ e FT). A RZ apresentou os maiores valores de espessura com semelhança estatística às obtidas pela RZ60.

Embora as duas técnicas de medidas de espessura empregadas fossem diferentes, seus resultados mostraram correlação significativa. O teste de correlação de Pearson (Figura 5.2) mostrou alto valor de correlação entre os ensaios ($r=0,96$).

Figura 5.2 - Correlação entre medidas obtidas no ensaio ESP ISO e ESP PC

5.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

5.2.1 Resistência à flexão biaxial

Os ensaios de resistência à flexão biaxial foram realizados nos grupos experimentais com resultados normais e homocedásticos. A análise de variância demonstrou diferenças estatisticamente significantes ($p < 0,001$). O teste de Tukey foi aplicado e as diferenças de médias foram analisadas e os resultados foram demonstrados na figura 5.3.

Figura 5.3 - Médias e desvios padrão de resistência à flexão biaxial. Letras iguais indicam semelhanças estatísticas

Os grupos RZ, RZ45, RZ60 e FZ, apresentaram resultados estatisticamente semelhantes entre si, superiores aos demais grupos. Os cimentos resinosos (CR e CV) e a resina fluida FT apresentaram os menores valores e semelhança estatística com os grupos de resina composta RT, RT45 e RT60.

5.2.2 Microdureza

As medidas de microdureza Knoop apresentaram dados homocedásticos e normais. A análise de variância demonstrou significância estatística entre as condições experimentais ($p < 0,001$). O teste de Tukey foi realizado a fim de evidenciar diferenças estatísticas entre os grupos (Figura 5.4).

Figura 5.4 – Médias e desvios padrão de microdureza Knoop dos grupos avaliados. Letras iguais indicam semelhanças estatísticas

Para o ensaio de microdureza Knoop, as resinas RZ, RZ45 e RZ60 apresentaram os maiores valores, com semelhança estatística entre si. Opostamente, os menores resultados foram apresentados pelos materiais FT e CV, estatisticamente semelhantes. Os demais grupos mostraram-se com valores intermediários distintos dos demais grupos e estatisticamente semelhantes entre si.

5.2.3 Módulo de elasticidade

As medidas de módulo de elasticidade dos materiais resultaram em dados normais e homocedásticos. A análise de variância indicou que houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p < 0,001$). As médias de módulo de elasticidade estão apresentadas na Figura 5.5 e as diferenças estatísticas indicadas pelo teste de Tukey.

Figura 5.5 – Médias e desvios padrão de módulo de elasticidade (ME) dos grupos avaliados. Letras iguais indicam semelhança estatística

Os grupos de resinas compostas RZ, RZ45, RT45 e RZ60 apresentaram os maiores valores de módulo de elasticidade (ME), com valores estatisticamente semelhantes entre si. Os cimentos resinosos (CR e CV) apresentaram semelhança estatística entre si, com valores de módulo de elasticidade inferiores aos apresentados pelas resinas compostas em todas as condições experimentais (RZ, RZ45, RZ60, RT, RT45 e RT60). As resinas fluidas apresentaram valores diferentes entre si, sendo inferiores estatisticamente às resinas compostas.

5.3 PROPRIEDADES ÓPTICAS

5.3.1 Diferença de cor (ΔE)

A diferença de cor (ΔE) dos materiais testados foi obtida comparando os valores apresentados pelas resinas restauradoras nas diferentes condições de aquecimento e resinas fluidas em relação ao cimento resinoso de cada fabricante (considerados materiais padrão para esta finalidade) a partir dos parâmetros *L*, *a* e *b* do sistema de cores criado pela *International Commission of Illumination* (*Comissão Internacional de l'Eclair*) e designado como CIE-Lab.

Os resultados obtidos pelo teste foram normais e homocedásticos e apresentaram significância na análise de variância ($p < 0,001$). O teste de Tukey foi aplicado para identificar as diferenças entre as médias obtidas (Figura 5.6).

Figura 5.6 - Médias e desvios padrão da diferença de cor (ΔE) dos grupos avaliados. Ressalta-se que o ΔE foi calculado em comparação ao cimento resinoso de mesmo fabricante. Letras iguais indicam semelhança estatística

O menor valor de (ΔE) foi apresentado pelo grupo RZ60, seguido por RT e FT, que foram semelhantes entre si. Entre os grupos RZ, RZ45 e FZ os valores foram semelhantes, porém intermediários a todos os grupos. Os maiores valores de ΔE foram encontrados para o grupo RT60 seguido por RT45.

5.3.2 Razão de contraste (RC)

A partir dos testes ópticos de reflectância sobre fundo preto e branco, os valores médios de razão de contraste foram obtidos. Os resultados foram normais e homocedásticos e a análise de variância apresentou significância estatística ($p < 0,001$). As diferenças entre as médias para as medidas de razão de contraste foram indicadas pelo teste de Tukey (Figura 5.7).

Figura 5.7 - Médias e desvios padrão da razão de contraste (RC) dos grupos avaliados. Letras iguais indicam semelhança estatisticamente significativa ($p < 0,001$)

Dentre os grupos de materiais testados, os que apresentaram maior razão de contraste estão os grupos RZ, RZ45 e FZ. Os menores valores estão presentes nos grupos RT45, FT e CV. Os demais grupos apresentaram valores intermediários de razão de contraste.

5.3.3 Opalescência

Os dados de opalescência foram homocedásticos e normais e a análise de variância apresentou significância estatística ($p < 0,001$). Diferenças entre médias no teste de opalescência foram indicados pelo teste de Tukey e demonstrados na figura 5.8.

Figura 5.8 - Médias e desvios padrão da opalescência dos grupos avaliados. Letras iguais indicam semelhança estatística

Os grupos FZ, CR, FT e CV apresentaram os valores de opalescência estatisticamente semelhantes entre si. Os demais materiais apresentaram valores de opalescência menores.

6 DISCUSSÃO

6.1 ESPESSURA DE PELÍCULA

A primeira hipótese deste estudo, sobre as resinas restauradoras em todas as condições de temperatura e as resinas fluidas formarem películas com espessuras semelhantes àsquelas formadas pelos cimentos resinosos foi parcialmente aceita. Os grupos compostos pelas resinas fluidas apresentaram resultados semelhantes àqueles alcançados pelos cimentos resinosos. Contudo, os grupos formados pelas resinas restauradoras em qualquer condição estudada apresentaram valores estatisticamente superiores aos dos cimentos resinosos.

Os resultados obtidos neste experimento foram obtidos por 2 métodos de mensuração distintos. O primeiro deles, nominado ESP ISO, realizado conforme a norma ISO 4049, e o outro, chamado ISO PC, realizado com interposição de material de cimentação entre dois discos de porcelana. Para ambos os protocolos de medida, o ranqueamento dos grupos foi similar, e identificada forte correlação entre os resultados obtidos pelas duas metodologias.

A norma ISO 4049 orienta que o agente de cimentação forme película com espessura máxima de 50 μm (46). Valores inferiores a 50 μm foram encontrados nos grupos FZ, CR, FT e CV em ambas as metodologias, possibilitado possivelmente pela menor viscosidade inerente a estes materiais.

Para ambas as metodologias, os grupos formados por resinas restauradoras apresentaram valores de espessura elevados e estatisticamente maiores que os grupos das resinas fluidas e cimentos resinosos. Este resultado está de acordo com a literatura que afirma que materiais restauradores, possivelmente com maior quantidade de carga que resinas fluidas e cimentos resinosos, apresentam maior viscosidade (33, 43), consequentemente formam películas mais espessas.

O aquecimento de resinas com vistas à diminuição de sua viscosidade também foi estudado por outros autores (29, 30, 45, 47, 48). Estes estudos indicam que o calor leva a um aumento da agitação térmica dos monômeros que aumenta a sua fluidez, sendo usado para melhorar a adaptação de resinas em cavidades dentárias e reduzir a tensão decorrente da contração de polimerização do compósito com vistas a um menor risco de ruptura da interface entre o dente e a restauração. Todavia, concordam que o comportamento do material em virtude do aquecimento pode variar entre marcas (21, 30, 45, 47). No presente estudo, percebeu-se que o tratamento térmico não foi capaz de reduzir a espessura de película, exceto uma redução pontual e discreta para a resina RZ45 (Z250<3M ESPE>, aquecida à 45 graus).

Em experimento realizado por Blalock (21), foram encontrados resultados de espessura de película diferentes para cada temperatura de aquecimento (54 e 60 graus), e maior espessura em relação aos cimentos resinosos estudados. Este achado corrobora com o presente estudo no qual a resina restauradora aquecida a 45 graus (RZ45) apresentou espessura significativamente menor quando comparada à resina restauradora não aquecida RZ. Resultado similar foi encontrado por Da Costa e colaboradores (48), em que o tratamento térmico diminuiu a viscosidade dos materiais e reduziu a espessura de película formada, porém não na mesma proporção para todos os materiais.

Deb e colaboradores (26) também estudaram o efeito do calor sobre a viscosidade dos materiais em seis marcas comerciais de compósitos resinosos. Foram feitas medidas usando a relação de fluidez e espessura de película formada em temperatura ambiente e sob o efeito do calor. Entretanto os resultados mostraram que o calor foi capaz de reduzir a espessura das películas formadas, indicando uma relação inversa entre a viscosidade e o percentual de carga.

Daronch e colaboradores estudaram o aquecimento de resinas compostas pelo aparelho CalSet (AdDent Inc., Danbury, Connecticut, USA) previamente à sua fotoativação e verificaram que após dois minutos da retirada do composto do aparelho aquecedor, ocorreu um decréscimo de 50% na sua temperatura (20). O tempo empregado para retirar a resina restauradora aquecida do forno até a fotoativação pode ter sido suficiente para resfriar o material e a recuperação parcial

de sua viscosidade, de modo a não reduzir a espessura de película conforme o esperado, justificando os resultados obtidos no presente ensaio.

Os grupos RZ e RT, formados por resinas restauradoras de marcas comerciais diferentes, apresentaram diferenças estatísticas em ambas as metodologias. Embora as informações dos fabricantes mostrem similaridade entre a composição da matriz e proporção de carga entre os materiais, não é incomum que materiais classificados em uma mesma categoria, porém de fabricantes diferentes, apresentem respostas distintas aos experimentos submetidos (21).

Vários relatos clínicos e laboratoriais vêm tratando do aquecimento de resinas restauradoras como um mecanismo para reduzir sua viscosidade e possibilitar o uso para fins de cimentação de facetas (1, 27, 28). Entretanto, muito poucos apresentam a análise clínica da espessura de película envolvendo o aquecimento das resinas.

Em avaliação clínica realizada por D'Arcangelo et al. em dentes restaurados com facetas de porcelana cimentadas em esmalte dentário com resina restauradora Enamel Plus HFO (Micerium, Genova, Itália) aquecidas à 39°C, o autor considerou ter obtido sucesso com o emprego deste material para cimentação. Foram usados como critérios de avaliação para o resultado satisfatório após os sete anos de instalação da faceta, ausência de cáries secundárias por infiltração, perda de vitalidade pulpar, adaptação e não descoloração marginal, estabilidade de cor, trincas ou fraturas e retenção da faceta (28). Segundo o autor, o índice de sucesso segundo os critérios usados foi considerado alto, havendo um total de 19 intercorrências desfavoráveis entre as 119 facetas instaladas após os sete anos de observação.

Em relato clínico do uso de resinas restauradoras pré-aquecidas, Rickman et al. (27) mencionam o uso do aparelho aquecedor CalSet (AdDent Inc., Danbury, Connecticut, USA) como um eficiente auxiliar no aquecimento das resinas restauradoras. O aquecimento da resina restauradora (Miris 2, Coltene-Whaledent) diminuiu sua viscosidade a ponto de ser possível usá-la para o correto assentamento da faceta de porcelana sobre o esmalte dentário. Entretanto, por se tratar de um relato clínico, medidas de espessura não foram realizadas. A qualidade do assentamento da peça protética e o acabamento conferido, segundo o autor, demonstram vantagens no aquecimento do material. Novamente, pode-se

considerar a variação de resposta ao aquecimento em função da marca comercial, pois, para alguns grupos aquecidos, no presente trabalho, embora não tenha sido possível alcançar o valor de espessura desejado evidenciou-se uma pequena redução na espessura obtida.

A espessura de película de cimento, segundo Manso e colaboradores, deve ser tão fina quanto possível a fim de minimizar a sorção de água e consequentemente a plastificação da matriz resinosa (38). No presente trabalho, os grupos formados pelas resinas fluidas e cimentos resinosos, em ambos os métodos, mostraram resultados satisfatórios em relação à norma, apresentando valores absolutos abaixo dos 50 μm . Estes resultados podem ser explicados pela maior quantidade de monômeros diluentes e/ou menor tamanho e quantidade de carga, conduzindo à menor viscosidade destes materiais.

6.2 PROPRIEDADES MECANICAS

A hipótese testada para as propriedades mecânicas foi parcialmente aceita. Todos os grupos de resinas restauradoras mostraram valores médios superiores aos demais, entretanto o tratamento térmico não promoveu modificações significativas nas propriedades mecânicas. A resina fluida apresentou valores similares ao cimento resinoso estudado.

No presente trabalho, foram realizados testes que forneceram os dados de resistência à flexão biaxial (RFB), módulo de elasticidade (ME) e microdureza Knoop. Diversas pesquisas apontam que o tratamento térmico favorece o aumento das propriedades mecânicas dos compósitos resinosos. O calor levaria a um retardo no processo de desaceleração da reação de polimerização, com aumento da cinética de formação dos polímeros da matriz orgânica e maior número de conversões de ligações duplas de carbonos e maior número de ligações cruzadas, gerando um aumento das propriedades de resistência mecânica do material (29, 43, 49, 50).

Neste estudo, o resultado do teste de resistência à flexão biaxial nos grupos de resinas restauradoras aquecidas em duas temperaturas (45 e 60 graus) sugere que o tratamento térmico não produziu modificações nesta propriedade. Este resultado é apoiado por um trabalho realizado por Fróes-Salgado e colaboradores, que testaram a mesma propriedade também em condições de temperatura variadas e o resultado para o material aquecido foi semelhante ao grupo controle, com valores similares para a resistência à flexão em ambas as condições de temperatura(47). Entre as possíveis causas deste desempenho contrário ao esperado, conforme sugere o autor supracitado, são as condições de preparo dos materiais que não se conservam em isoterminia, podendo alterar o comportamento da matriz orgânica. Finalmente, o mesmo autor cita que relações encontradas em seu estudo podem não ser comparativas a resultados de outros estudos pela diferença entre marcas comerciais em relação a diferenças na composição das partículas e componentes químicos.

Deb e colaboradores também avaliaram o efeito do tratamento térmico em seis marcas comerciais de compostos resinosos e o resultado encontrado indica que embora tenha ocorrido aumento do grau de conversão dos monômeros a resistência à flexão do material manteve-se inalterada(26). Os autores compreendem que a resposta do material ao tratamento térmico estaria relacionada à proporção de partículas de carga presentes em cada material, onde uma correlação negativa indica que a menor proporção de carga em relação à matriz aumentaria a sensibilidade do material ao tratamento térmico. Assim, como a proporção de carga entre os grupos testados é bastante similar, a resposta obtida ao tratamento térmico mostrou-se similar ao encontrado do estudo citado acima.

Os maiores valores de microdureza Knoop foram apresentados pelas resinas restauradoras. Para cada marca comercial de resina restauradora, independentemente das temperaturas de aquecimento, os valores encontrados foram semelhantes. O mesmo padrão de resposta ocorreu entre as resinas fluidas e cimentos resinosos, havendo semelhança entre estes, dentro da mesma marca comercial.

Os maiores valores de microdureza foram encontrados nos grupos das resinas restauradoras se comparados aos cimentos ou às resinas fluidas. Este

resultado está respaldado por trabalhos que correlacionam a maior proporção de partículas de carga com maiores valores para as propriedades mecânicas (34).

O aumento dos valores da microdureza nos grupos de resinas restauradoras pré-aquecidas não foi observado no presente trabalho, sugerindo que o tratamento térmico não foi capaz de promover o aumento no grau de conversão dos polímeros a ponto de melhorar suas propriedades mecânicas, à semelhança dos resultados encontrados em estudo feito por Lohbauer (42).

Por outro lado, Ayub e colaboradores verificaram aumento na dureza Knoop de quatro resinas compostas aquecidas antes da fotoativação (45). Seus resultados foram atribuídos ao aumento da cinética nas cadeias da matriz orgânica. Resultados como estes também foram encontrados por Lucey e colaboradores em que a resina restauradora pré-aquecida à 60°C mostrou aumento na dureza de superfície em relação ao composto ativado em temperatura ambiente (22). Nada e El-Mowafy também testaram a dureza de superfície em compostos pré-aquecidos e encontraram maiores valores para algumas marcas comerciais, o que os levou a considerar que materiais de marcas diferentes podem apresentar respostas diferentes ao tratamento térmico (51).

O fato dos valores de microdureza dos grupos de resinas fluidas e cimentos resinosos terem sido menores que aqueles dos grupos de resinas restauradoras corroboram com as afirmações de Baroudi e colaboradores (25) e Rickman e colaboradores (27) que dizem que a menor proporção de partículas de carga das resinas fluidas (35 a 53% em volume) em relação aos compósitos convencionais (50 a 70%) é responsável pelo desempenho mecânico destes materiais. Prieto e colaboradores (52) chamam atenção para a importância da resistência mecânica do material de cimentação, tal como a microdureza, e sua influência no desempenho de cerâmicas (25, 27).

Os valores de módulo de elasticidade para os grupos RZ, RZ45 e RZ60 foram estatisticamente semelhantes. Este resultado sugere não ter havido influência do tratamento térmico dispensado aos grupos RZ45 e RZ60. Da mesma maneira, entre os grupos RT, RT45 e RT60, os valores foram estatisticamente semelhantes, sugerindo não terem sofrido alteração com o tratamento térmico.

Assim como no presente trabalho, em pesquisa feita por Uctasli e colaboradores os autores não encontraram relação entre o tratamento térmico e módulo de elasticidade, sugerindo que esta característica seja mais influenciada pelo volume e proporção de partículas de carga dos materiais (53). De maneira similar, Chung et al afirmam que a proporção em volume e tamanho de cargas é o fator que mais influencia as propriedades mecânicas, tais como resistência e dureza, assim também como no módulo de elasticidade dos materiais (54).

Entre os grupos formados pelas resinas fluidas e os cimentos resinosos de ambas as marcas, os valores de módulo de elasticidade foram semelhantes dentro dos grupos, sugerindo haver influência da composição, relacionadas ao conteúdo de carga e proporção entre os monômeros constituintes da matriz orgânica, conforme pesquisas anteriores (26, 43, 54). Babu e colaboradores estudaram o módulo de elasticidade de três marcas comerciais de cimentos resinosos e afirmam que o módulo de elasticidade do material está diretamente relacionado ao seu conteúdo de carga (36).

O pré-aquecimento de resinas restauradoras pode ser catalisador para o aumento do grau de conversão dos monômeros e pode ser relacionado ao aumento das suas propriedades mecânicas, pois uma rede polimérica mais densa seria esperada como efeito do pré-aquecimento, com o retardo causado pelo processo da auto-desaceleração e aumento da cinética da reação de polimerização (29). Entretanto, o presente estudo demonstrou que o pré-aquecimento não foi capaz de aumentar as propriedades mecânicas testadas. Além das possíveis causas previamente discutidas, ainda pode ser considerado que o tempo decorrido com o preparo dos corpos de prova tenha sido capaz de reduzir a temperatura, trazendo-a a patamares próximos à temperatura ambiente e, com isto, culminando em propriedades similares às dos grupos que não foram aquecidos. Este problema relacionado à perda de calor após o aquecimento e antes da fotoativação foi relatado por estudos prévios (26, 42, 47, 50).

6.3 PROPRIEDADES ÓPTICAS

A hipótese nula que relaciona o comportamento óptico das resinas restauradoras em todas as condições de temperatura e das resinas fluidas apresentar-se semelhante ao do cimento resinoso foi parcialmente aceita. Os grupos formados pelas resinas fluidas em alguns ensaios apresentaram semelhança em relação aos resultados obtidos pelos cimentos resinosos. Os grupos formados pelas resinas restauradoras tiveram resultados grupo-dependentes quando comparados aos cimentos resinosos nos testes de diferença de cor e opalescência. Todavia, verificou-se que o tratamento térmico não foi capaz de torna-los similares aos cimentos resinosos.

A cor e a opalescência, juntamente com a translucidez, são elementos que compõem a caracterização óptica de um material restaurador. As facetas cerâmicas são materiais translúcidos e precisam de agentes de cimentação que auxiliem na manutenção desta característica. A escolha de um cimento para fixação das porcelanas precisa levar em conta estes aspectos, pois a cor final da restauração será influenciada pela combinação da cor do agente de cimentação e do substrato (55).

Em estudo de Almeida e colaboradores, quatro materiais propostos com a finalidade de cimentação de facetas de porcelana sobre esmalte foram analisados quanto à estabilidade de cor após ciclagem térmica e envelhecimento artificial. Os resultados indicaram que cimentos fotoativados, resinas fluidas e resinas restauradoras pré-aquecidas foram capazes de apresentar-se opticamente estáveis, indicando o seu uso para a cimentação. Já o cimento resinoso dual não foi qualificado para o critério proposto (1).

O presente trabalho pretendeu compreender se as resinas restauradoras pré-aquecidas e resinas fluidas apresentam propriedades mecânicas e ópticas que os indiquem para a cimentação de facetas cerâmicas. Por esta razão, metodologia proposta para avaliação da diferença de cor foi realizada comparando os valores de L, a, b das resinas restauradoras e resinas fluidas aos valores L, a, b do cimento resinoso fotoativado de mesma marca comercial. Na primeira etapa foram feitas as medidas de L, a, b por transmitância e reflectância para que análises comparativas fossem realizadas. Em seguida, foram calculadas a razão de contraste e

opalescência para melhor compreensão das características ópticas dos materiais nas diversas condições experimentais.

A diferença de cor obtida pela comparação dos parâmetros L , a e b do sistema de cores criado pela *International Commission of Illumination (Commission Internationale de l'Eclair)* foi realizada para compor o primeiro conjunto de dados para análise óptica dos materiais usados neste estudo. A primeira análise do estudo foi para verificar se entre os diferentes grupos, nominalmente apresentando a mesma referência de cor da escala VITA, apresentariam semelhança nos valores de L , a , b . Não existem na literatura valores absolutos que indiquem quais os limites de diferença de cor seriam aceitáveis para os materiais de cimentação. Porém, existe entre alguns autores consenso em relação a intervalos de valores e seu significado clínico, que indicam que valores de $\Delta E < 1$ são considerados não perceptíveis para o olho humano; valores de ΔE entre 1 e 2 são considerados perceptíveis para olhos treinados, mas são clinicamente aceitáveis; e os limites perceptíveis a olhos não treinados variam em trabalhos da literatura com valores superiores a 2; 2,7 e 3,3 (56, 57).

Na diferença de cor, os grupos RZ, RZ45 e RZ60, compostos por resinas restauradoras, mostraram diferenças significativas entre si, sugerindo que o tratamento térmico provocou alterações nas propriedades ópticas do material. Comparativamente, o grupo RZ60 apresentou valor de ΔE abaixo de 2 sendo considerado clinicamente aceitável. Porém, para todos os demais grupos deste fabricante, inclusive o grupo FZ, o valor de ΔE mostrou-se próximo a 3.

Para os grupos do fabricante Ivoclar Vivadent RT45, RT60, os resultados de ΔE estiveram acima de 4,8. Porém, os grupos FT e RT mostraram resultados abaixo de 3, com respostas mais favoráveis (56).

Comparando todos os grupos, a primeira observação a ser feita é que os resultados para todos os grupos de resinas restauradoras sugerem que o tratamento térmico promove modificações no material, porém a resposta foi marca comercial e temperatura dependentes. Por isso, não foi possível estabelecer uma relação objetiva a respeito do padrão de resposta ao tratamento térmico.

Ainda com respeito aos resultados encontrados na diferença de cor dos materiais, é incerto estabelecer qual o tipo de modificação causada. É muito escassa a literatura que trata do efeito do tratamento térmico nas propriedades ópticas de compostos resinosos, sendo mais estudado o efeito causado sobre a estabilidade da cor do material após o envelhecimento artificial (1, 10).

Mundim e colaboradores realizaram experimento com uma marca comercial sobre a qual aplicaram tratamento térmico (60°C) e processo de envelhecimento. Neste trabalho, avaliaram o efeito do calor sobre as propriedades ópticas do material, considerando o aumento do grau de conversão proporcionado pelo calor. Como resultado, não foi verificada alteração na cor do material, nem imediata nem após envelhecimento artificial, pelo qual afirmaram que o calor foi capaz de aumentar o grau de conversão do material, mas não afetou suas propriedades ópticas (58). Com base neste estudo, podemos considerar a hipótese de o tratamento térmico ter causado modificações na matriz orgânica do material, levando a alguma alteração na cor. Esta é uma questão sobre a qual é necessário ampliar as pesquisas para que seja devidamente esclarecida.

Na sequência de testes realizados, a razão de contraste foi o segundo critério avaliado. A razão de contraste relaciona a reflectância de um objeto posicionado sobre um fundo preto e a reflectância medida sobre um fundo branco. Os valores da razão de contraste variam de 0 a 1, sendo 0 o material mais translúcido e 1 o material mais opaco (59).

A importância da translucidez de uma agente de cimentação foi estudada por Perroni et al. (41) que afirmam que o grau de opacidade do agente de cimentação pode ter maior influência no resultado final do tratamento dos valores de croma ou matiz.

Comparando todos os grupos entre si, pode-se observar diferença estatística. Assim como na avaliação de ΔE , no teste de razão de contraste os grupos formados pelas resinas restauradoras mostraram diferenças de valores entre grupos da mesma marca comercial, sugerindo que o tratamento térmico pode ter provocado alteração especialmente na matriz orgânica dos materiais. Para ambas as marcas, o tratamento térmico levou à redução da opacidade (grupos RZ60 e RT45), mas em temperaturas diferentes.

Ao comparar exclusivamente os grupos da resina restauradora nas diversas condições experimentais com os cimentos resinosos da marca correspondente, diferenças estatísticas puderam ser percebidas. O grupo RZ60, que recebeu tratamento térmico a 60 graus Celsius, e o grupo RZ mostraram semelhanças estatísticas se comparados ao cimento da mesma marca comercial. As resinas restauradoras e fluida que se compararam ao grupo CV apresentaram diferenças estatísticas em relação a este cimento. De todos os grupos estudados, CV apresentou o menor valor absoluto de razão de contraste, diferente de todos os demais grupos.

A quantidade de partículas de carga pode ser a causa da menor opacidade do grupo CV (60, 61). No estudo de Kim e colaboradores, os autores afirmam que a quantidade e a natureza das partículas podem alterar a opacidade dos compostos resinosos. Em estudo feito por Archegas e colaboradores (10), os autores estudaram a estabilidade de cor e a opacidade de resinas e cimentos resinosos e, embora sua metodologia propusesse o envelhecimento artificial dos materiais para análise, foi considerado que também a matriz orgânica, após incorporação de pigmentos, sorção de água e lixiviação dos monômeros, contribua para o processo de opacificação.

A última etapa dos testes ópticos avaliou a opalescência. A opalescência é fenômeno óptico caracterizado pela reflexão da luz visível de comprimentos de onda curtos, dando ao material uma aparência branca azulada para a luz refletida e marrom avermelhada pela luz transmitida. No dente natural esse espalhamento é causado pelos cristais de hidroxiapatita presentes no esmalte, sendo mais perceptível nas bordas incisais. Nos compósitos restauradores esta característica é atribuída à presença de partículas de carga de tamanhos menores que promovem o espalhamento da luz incidente no material translúcido. Um estudo avaliou que os valores de opalescência variaram de 6,3 a 22,4 em três tipos de porcelanas odontológicas avaliadas (62).

No presente estudo, os grupos avaliados mostraram valores de opalescência que se enquadram no intervalo indicado do estudo de Lee e colaboradores (62), sendo o grupo RZ45 com menor valor (próximo a 7,5) e o grupo FZ com o maior valor (próximo a 15). Os maiores valores foram apresentados pelos grupos formados

pelas resinas fluidas e cimentos resinosos de ambas as marcas. No grupo RZ45, o resultado sugere que o tratamento térmico na temperatura de 45 graus Celsius causou modificações na opalescência, pois este grupo mostrou resultado inferior aos demais grupos compostos por esta resina restauradora. Da mesma maneira, o tratamento térmico parece ter causado alteração no grupo RT45, porém aumentando seu valor de opalescência em relação aos grupos formados pela mesma resina. Logo, os resultados de opalescência parecem ser dependentes das marcas comerciais testadas.

7 CONCLUSÃO

Considerando as limitações do presente estudo, concluiu-se que os tratamentos térmicos não alteraram as propriedades mecânicas das resinas restauradoras e não promoveram uma redução da espessura de película que atenda aos requisitos da ISO 4049. As resinas fluidas e os cimentos apresentaram espessura de película inferior à 50µm.

As duas metodologias empregadas para avaliar a espessura de película mostraram resultados similares, com elevada correlação, indicando confiança na metodologia especificamente desenvolvida para este trabalho

Para cada marca comercial, as resinas restauradoras apresentaram características mecânicas de durezas e módulos de elasticidade superiores às resinas fluidas e aos cimentos resinosos, porém foram semelhantes quanto à resistência à flexão biaxial.

A diferença de cor e razão de contraste apresentaram resposta grupo dependente e os maiores valores de opalescência foram observados nos cimentos resinosos.

REFERÊNCIAS¹

1. Almeida JR, Schmitt GU, Kaizer MR, Boscato N, Moraes RR. Resin-based luting agents and color stability of bonded ceramic veneers. *J Prosthet Dent*. 2015 Aug;114(2):272-7.
2. Pinto MM. Propriedades ópticas e microestrutura de materiais cerâmicos de restauração dentária. [tese] São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2009.
3. Spazzin AO, Guarda GB, Oliveira-Ogliari A, Correr-Sobrinho FL, Moraes RR. Strengthening of Porcelain Provided by Resin Cements and Flowable Composites. *Oper Dent*. 2016 Mar-Apr; 41(2):179-88
4. Calamia JR, Calamia CS. Porcelain laminate veneers: reasons for 25 years of success. *Dent Clin North Am*. 2007 Apr;51(2):399-417, ix.
5. Pegoraro TA, da Silva NR, Carvalho RM. Cements for use in esthetic dentistry. *Dent Clin North Am*. 2007 Apr;51(2):453-71, x.
6. Addison O, Marquis PM, Fleming GJ. Quantifying the strength of a resin-coated dental ceramic. *J Dental Res*. 2008 Jun;87(6):542-7.
7. Hill EE. Dental cements for definitive luting: a review and practical clinical considerations. *Dent Clin North Am*. 2007 Jul;51(3):643-58, vi.
8. Bagheri R. Film thickness and flow properties of resin-based cements at different temperatures. *J Dent (Shiraz)*. 2013 Jun;14(2):57-63.
9. Kilinc E, Antonson SA, Hardigan PC, Kesercioglu A. Resin cement color stability and its influence on the final shade of all-ceramics. *J Dent*. 2011 Jul;39 Suppl 1:e30-6.
10. Archegas LR, Freire A, Vieira S, Caldas DB, Souza EM. Colour stability and opacity of resin cements and flowable composites for ceramic veneer luting after accelerated ageing. *J Dent*. 2011;39(11):804-10.

¹ De acordo com o Estilo Vancouver

11. Begum Z, Chheda P, Shruthi CS, Sonika R. Effect of Ceramic Thickness and Luting Agent Shade on the Color Masking Ability of Laminate Veneers. *J Indian Prosthodont Soc.* 2014 Dec;14(Suppl 1):46-50.
12. Turgut S, Bagis B. Effect of resin cement and ceramic thickness on final color of laminate veneers: an in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2013 Mar;109(3):179-86.
13. de Oliveira DC, Rocha MG, Gatti A, Correr AB, Ferracane JL, Sinhoret MA. Effect of different photoinitiators and reducing agents on cure efficiency and color stability of resin-based composites using different LED wavelengths. *J Dent.* 2015 Dec;43(12):1565-72.
14. Silami FD, Mundim FM, Garcia Lda F, Sinhoreti MA, Pires-de-Souza Fde C. Color stability of experimental composites containing different photoinitiators. *J Dent.* 2013 Aug;41 Suppl 3:e62-6.
15. Albuquerque PP, Moreira AD, Moraes RR, Cavalcante LM, Schneider LF. Color stability, conversion, water sorption and solubility of dental composites formulated with different photoinitiator systems. *J Dent.* 2013 Aug;41 Suppl 3:e67-72.
16. Baroudi K, Rodrigues JC. Flowable Resin Composites: A Systematic Review and Clinical Considerations. *J Clin Diagn Res* 2015 Jun;9(6):ZE18-24.
17. Moon PC, Tabassian MS, Culbreath TE. Flow characteristics and film thickness of flowable resin composites. *Oper Dent.* 2002 May-Jun;27(3):248-53.
18. Helvey GA. Porcelain laminate veneer insertion using a heated composite technique. *Inside Dentistry.* 2009;9(4):38-45.
19. Freedman G, Krejci I. Warming up to composites. *Compend Contin Educ Dent.* 2004 May;25(5):371-4, 6; quiz 8.
20. Daronch M, Rueggeberg FA, Moss L, de Goes MF. Clinically relevant issues related to preheating composites. *J Esthet Restor Dent.* 2006;18(6):340-50; discussion 51.
21. Blalock JS, Holmes RG, Rueggeberg FA. Effect of temperature on unpolymerized composite resin film thickness. *J Prosthet Dent.* 2006 Dec;96(6):424-32.

22. Lucey S, Lynch CD, Ray NJ, Burke FM, Hannigan A. Effect of pre-heating on the viscosity and microhardness of a resin composite. *J Oral Rehabil.* 2010 Apr;37(4):278-82.
23. D'Amario M, De Angelis F, Vadini M, Marchili N, Mummolo S, D'Arcangelo C. Influence of a repeated preheating procedure on mechanical properties of three resin composites. *Oper Dent.* 2015 Mar-Apr;40(2):181-9.
24. Dionysopoulos D. Effect of preheating on the film thickness of contemporary composite restorative. *J Dent Sci.* 2015;9:313-9.
25. Baroudi K, Mahmoud S. Improving Composite Resin Performance Through Decreasing its Viscosity by Different Methods. *Open Dent J.* 2015 Jun 26;9:235-42.
26. Deb S, Di Silvio L, Mackler HE, Millar BJ. Pre-warming of dental composites. *Dent Mater.* 2011 Apr;27(4):e51-9.
27. Rickman LJ, Padipatvuthikul P, Chee B. Clinical applications of preheated hybrid resin composite. *Br Dent J.* 2011;211(2):63-7.
28. D'Arcangelo C, De Angelis F, Vadini M, D'Amario M. Clinical evaluation on porcelain laminate veneers bonded with light-cured composite: results up to 7 years. *Clin Oral Investig.* 2012 Aug;16(4):1071-9.
29. Bausch JR, de Lange C, Davidson CL. The influence of temperature on some physical properties of dental composites. *J Oral Rehabil.* 1981 Jun;8(4):309-17.
30. Wagner WC, Aksu MN, Neme AM, Linger JB, Pink FE, Walker S. Effect of pre-heating resin composite on restoration microleakage. *Oper Dent.* 2008 Jan-Feb;33(1):72-8.
31. Reis AL, AD. *Materiais Dentários Diretos - dos Fundamentos à Aplicação Clínica.* São Paulo: Editora Santos; 2013. 435 p.
32. Anusavice K. *Phillips materiais dentários* Rio de Janeiro: Elsevier; 2013. 592 p.
33. Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater.* 2011 Jan;27(1):29-38.

34. Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: A review of the current literature. *J Prosthet Dent*. 1998 Sep;80(3):280-301.
35. Lee JH, Um CM, Lee IB. Rheological properties of resin composites according to variations in monomer and filler composition. *Dent Mater*. 2006 Jun;22(6):515-26.
36. Babu MR, RaviKiran V, Vinod V, Saraswathi D, Rao VN. Comparative analysis for selection of resin luting cements based on filler content: an in vitro study. *J Contemp Dent Pract*. 2012;13(4):481-6.
37. Acquaviva PA, Cerutti F, Adami G, Gagliani M, Ferrari M, Gherlone E, et al. Degree of conversion of three composite materials employed in the adhesive cementation of indirect restorations: a micro-Raman analysis. *J Dent*. 2009 Aug;37(8):610-5.
38. Manso AP, Silva NR, Bonfante EA, Pegoraro TA, Dias RA, Carvalho RM. Cements and adhesives for all-ceramic restorations. *Dent Clin North Am*. 2011 Apr;55(2):311-32, ix.
39. Ellakwa A, Cho N, Lee IB. The effect of resin matrix composition on the polymerization shrinkage and rheological properties of experimental dental composites. *Dent Mater*. 2007 Oct;23(10):1229-35.
40. Prieto LT, Souza-Junior EJ, Araujo CT, Lima AF, Dias CT, Paulillo LA. Nanoleakage evaluation of resin luting systems to dental enamel and leucite-reinforced ceramic. *Micros Res Tech*. 2012 May;75(5):671-6.
41. Perroni AP, Amaral C, Kaizer MR, Moraes RR, Boscato N. Shade of Resin-Based Luting Agents and Final Color of Porcelain Veneers. *J Esthet Restor Dent* 2016 Sep;28(5):295-303.
42. Lohbauer U, Zinelis S, Rahiotis C, Petschelt A, Eliades G. The effect of resin composite pre-heating on monomer conversion and polymerization shrinkage. *Dent Mater*. 2009 Apr;25(4):514-9.
43. Spazzin AO, Guarda GB, Oliveira-Ogliari A, Leal FB, Correr-Sobrinho L, Moraes RR. Strengthening of Porcelain Provided by Resin Cements and Flowable Composites. *Oper Dent*. 2016 Mar-Apr;41(2):179-88.

44. D'Amario M, Pacioni S, Capogreco M, Gatto R, Baldi M. Effect of repeated preheating cycles on flexural strength of resin composites. *Oper Dent*. 2013 Jan-Feb;38(1):33-8.
45. Ayub KV, Santos GC, Jr., Rizkalla AS, Bohay R, Pegoraro LF, Rubo JH, et al. Effect of preheating on microhardness and viscosity of 4 resin composites. *J Can Dent Assoc*. 2014;80:e12.
46. Standard I. *Dentistry - Polymer-based restorative materials*. 2009.
47. Fróes-Salgado NR, Silva LM, Kawano Y, Francci C, Reis A, Loguercio AD. Composite pre-heating: effects on marginal adaptation, degree of conversion and mechanical properties. *Dent Mater*. 2010 Sep;26(9):908-14.
48. da Costa J, McPharlin R, Hilton T, Ferracane J. Effect of heat on the flow of commercial composites. *Am J Dent*. 2009 Apr;22(2):92-6.
49. Lovell LG, Newman SM, Bowman CN. The effects of light intensity, temperature, and comonomer composition on the polymerization behavior of dimethacrylate dental resins. *J Dent Res*. 1999 Aug;78(8):1469-76.
50. Daronch M, Rueggeberg FA, De Goes MF, Giudici R. Polymerization kinetics of pre-heated composite. *J Dent Res*. 2006 Jan;85(1):38-43.
51. Nada K, El-Mowafy O. Effect of precuring warming on mechanical properties of restorative composites. *Int J Dent*. 2011;2011:536212.
52. Prieto LT, Souza EJ, Jr., Araujo CT, Lima AF, Dias CT, Paulillo LA. Knoop hardness and effectiveness of dual-cured luting systems and flowable resin to bond leucite-reinforced ceramic to enamel. *J Prosthodont*. 2013 Jan;22(1):54-8.
53. Uctasli MB, Arisu HD, Lasilla LV, Valittu PK. Effect of preheating on the mechanical properties of resin composites. *Eur J Dent*. 2008 oct;2(4):263-8.
54. Chung KH, Greener EH. Correlation between degree of conversion, filler concentration and mechanical properties of posterior composite resins. *J Oral Rehabil*. 1990 Sep;17(5):487-94.

55. Barath VS, Faber FJ, Westland S, Niedermeier W. Spectrophotometric analysis of all-ceramic materials and their interaction with luting agents and different backgrounds. *Adv Dent Res*. 2003 Dec;17:55-60.
56. Vichi A, Louca C, Corciolani G, Ferrari M. Color related to ceramic and zirconia restorations: a review. *Dent Mater*. 2011 Jan;27(1):97-108.
57. Chu FC, Chow TW, Chai J. Contrast ratios and masking ability of three types of ceramic veneers. *J Prosthet Dent*. 2007 Nov;98(5):359-64.
58. Mundim FM, Garcia Lda F, Cruvinel DR, Lima FA, Bachmann L, Pires-de-Souza Fde C. Color stability, opacity and degree of conversion of pre-heated composites. *J Dent*. 2011 Jul;39 Suppl 1:e25-9.
59. da Costa J, Vargas M, Swift EJ, Jr., Anderson E, Ritter S. Color and contrast ratio of resin composites for whitened teeth. *J Dent*. 2009;37 Suppl 1:e27-33.
60. Kim JJ, Moon HJ, Lim BS, Lee YK, Rhee SH, Yang HC. The effect of nanofiller on the opacity of experimental composites. *J Biomed Materials research Part B, Applied biomaterials*. 2007;80(2):332-8.
61. Lee YK. Influence of filler on the difference between the transmitted and reflected colors of experimental resin composites. *Dent Mater* 2008 Sep;24(9):1243-7.